

การศึกษาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายชั้น

STUDY ON MULTISTAGE AXIAL FLOW TURBINE

มณฑล ใจกุศล และ จำลอง ปราบแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 0-2326-9987 โทรสาร 0-2326-9053 อีเมลล์ kpchamlo@kmitl.ac.th

Monton Jaikuson and Chamlong Prabkeao

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Tel: 0-2326-9987, Fax: 0-2326-9053, E-mail: kpchamlo@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดสอบหาประสิทธิภาพของกังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายชั้น ซึ่งใบพัดของกังหันนี้ออกแบบตามมาตรฐาน NACA 6510 และมีจำนวนใบพัดที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 4 ใบ การศึกษาจะทำการปรับมุมใบพัดจาก 30 ถึง 80 องศา และปรับมุมใบบังคับทิศทางจาก 0 ถึง 50 องศา จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมุมใบบังคับทิศทางที่ มุมใบพัดมีค่ามากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของกังหันน้ำสูงขึ้น และมีประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดเมื่อมุมใบพัดมีค่าประมาณ 65 องศา นอกจากนั้นมุมใบบังคับทิศทางที่มีค่ามากขึ้นยังทำให้ประสิทธิภาพของกังหันมีค่าสูงตามและมุมใบบังคับทิศทางที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 30 ถึง 40 องศา สุดท้ายในกรณีการไหลของน้ำ มุมใบพัดและมุมใบบังคับทิศทางคงที่ เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพของกังหันตามแนวแกนแบบหลายชั้นตอนและแบบขั้นเดียวพบว่าประสิทธิภาพแบบหลายชั้นตอนมีค่ามากกว่าประสิทธิภาพแบบกังหันแบบขั้นเดียวเสมอ

Abstract

This project bases on the finding of the efficiency of a multistage axial flow hydro-turbine of which blades have been properly designed and created according to the standard of NACA 6510. The studies were done to four-bladed turbines and relied on the adjustments of blade angles from 30 to 80 degrees and guide vane angles from 0 to 50 degrees. The experiments show that in case of constant guide vane angles, the more degrees blade angles have, the more efficient the turbine is. The maximum efficiency is approximately at 65 degree of blade angles. Furthermore, when the guide vane angles were adjusted

to be higher, the efficiency of turbine seemed higher accordingly. The optimum guide vane angles are between 30 to 40 degrees. Finally, in case that the water flow rate, the blade angles and the guide vane angles are constant, when the comparison on the efficiency of the single stage axial flow turbine and the multistage axial flow turbine is done, it's found that the efficiency of the multistage axial flow turbine is always more than that of the single stage axial flow turbine.

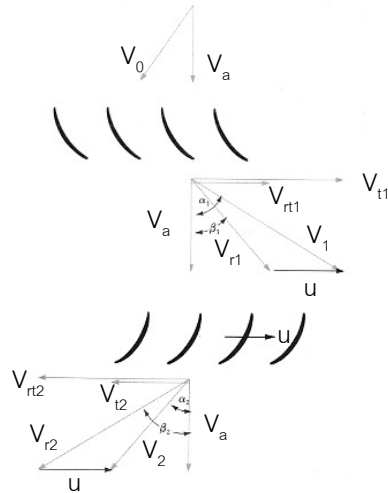
1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันนี้ มีการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้กันมาก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าถูกผลิตได้หลายวิธี วิธีหนึ่งก็คือการใช้กังหันน้ำมาผลิต ซึ่งกังหันน้ำสามารถแปลงพลังงานของของไหลให้เป็นพลังงานเชิงกล และพลังงานเชิงกลสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ต่อไป กังหันน้ำตามแนวแกนเป็นกังหันน้ำชนิดหนึ่งที่มีน้ำไหลผ่านตามแนวแกน เหมาะกับการทำงานภายใต้เฮดของแหล่งน้ำที่ไม่สูงมากนัก ใบพัดของกังหันน้ำชนิดนี้จะยึดติดกับแกนเพลลาหมุนทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงมุมของใบพัดได้ตามสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเครื่องกังหันน้ำจะทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้สภาวะทำงานเต็มที่ ส่วนประกอบหลักของกังหันน้ำตามแนวแกนคือ ใบพัด ใบบังคับทิศทางเรือนเครื่องกังหันน้ำและท่อทางออกของน้ำ[1] กังหันน้ำตามแนวแกนแบบหลายชั้น (Multistage Axial Flow Turbine) เป็นกังหันที่มีใบพัดหมุน (Runner) มากกว่าหนึ่งชุด ทำให้สามารถเปลี่ยนพลังงานของของไหลไปเป็นพลังงานเชิงกลได้มากขึ้น[2] จากผลดังกล่าวทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นตามไปด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและใช้ในการออกแบบ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของกังหัน

กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันน้ำตามแนวกานแบบหลายชั้นมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านใบพัดของกังหัน ซึ่งทิศทางและความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านใบพัดสามารถแสดงให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ความเร็ว (Velocity Triangle) ดังแสดงในรูปที่ 1 [3]

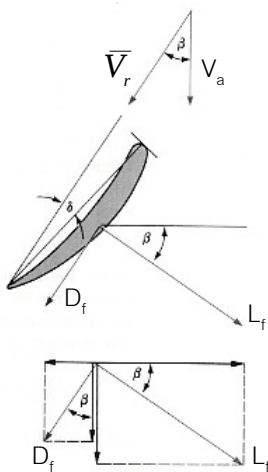


รูปที่ 1 แสดงเวกเตอร์ความเร็วเมื่อไหลผ่านใบพัด

จากสมการพลังงานและสมมติให้เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow) สามารถหาสมการกำลังงานที่ผลิตได้ ดังนี้

$$\text{กำลังงานที่ผลิตได้} = T\omega = \rho Qu(V_{t1} + V_{t2}) \quad (1)$$

แรงบิดจากสมการ (1) เกิดจากแรงของของไหลที่กระทำต่อใบพัด และทำให้ใบพัดของกังหันมีการหมุน แรงที่กระทำต่อใบพัดแต่ละใบมี 2 ชนิดคือ แรงยก (Lift Force) และแรงต้าน (Drag Force) ซึ่งทิศทางของแรงยกและแรงต้านที่กระทำต่อใบพัดแต่ละใบมีลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแรงยกและแรงต้านที่กระทำต่อใบพัด

สมการแรงยกและแรงต้านมีสมการดังต่อไปนี้

$$\text{แรงยก} = L_f = C_L \frac{\rho \bar{V}_r^2 A_p}{2} \quad (2)$$

และ

$$\text{แรงจุด} = D_f = C_D \frac{\rho \bar{V}_r^2 A_p}{2} \quad (3)$$

โดยที่

$$\bar{V}_r = \frac{V_{r1} + V_{r2}}{2}$$

แรงทั้งสองสามารถรวมเป็นแรงลัพธ์ตามแนวกานและแรงลัพธ์ตามแนวสัมผัสได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$\text{แรงลัพธ์ตามแนวกาน} = F_a = L_f \sin \beta + D_f \cos \beta \quad (4)$$

และ

$$\text{แรงลัพธ์ตามแนวสัมผัส} = F_t = L_f \cos \beta - D_f \sin \beta \quad (5)$$

ประสิทธิภาพรวมของกังหันเป็นตัวแปรไร้มิติที่สำคัญที่บ่งบอกสมรรถนะของกังหัน สมการประสิทธิภาพรวมของกังหันหาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพรวม} = \eta_t = \eta_{mech} \eta_{vol} \eta_{hyd} \quad (6)$$

สำหรับ ประสิทธิภาพ Volumetric $= \eta_{vol} = 100\%$

จะได้ ประสิทธิภาพรวม $= \eta_t = \frac{T\omega}{\text{InputPower}}$ (7)

โดยที่ $\text{InputPower} = \rho g Q_i H_i = Q_i \left(P_i + \frac{\rho V_i^2}{2} \right)$

2.2 การออกแบบแอร์ฟอยล์

การออกแบบแอร์ฟอยล์ (Airfoil) ที่ใช้ในการทดลองได้ออกแบบแอร์ฟอยล์ โดยใช้มาตรฐาน NACA 6510 [4] ทั้งนี้เพราะรูปร่างใบพัดที่ใช้ตามมาตรฐานนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกสูงสุดและค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านต่ำ

ทฤษฎีในการออกแบบแอร์ฟอยล์ตามมาตรฐาน NACA 6510 มีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

2.2.1 เลือกค่า x ตั้งแต่ 0 ถึงความยาวของ Chord

2.2.2 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของเส้นโค้ง (Camber line) ในแต่ละพิทช์ x

$$y_c = \frac{m(2px - x^2)}{p^2} \quad \text{เมื่อ } x = 0 \text{ ถึง } x = p$$

และ (8)

$$y_c = \frac{m((1-2p) + 2px - x^2)}{(1-p)^2} \quad \text{เมื่อ } x = p \text{ ถึง } x = c$$

2.2.3 คำนวณการกระจายตัวของความหนาด้านบนและด้านล่างแอร์ฟอยล์ของเส้นในแต่ละพิกัด x

$$\pm y_t = \frac{t(0.2969x\sqrt{x} - 0.126x - 0.3516x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4)}{0.2} \quad (9)$$

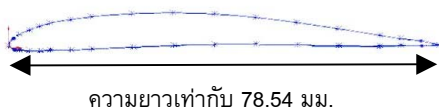
2.2.4 กำหนดพิกัดสุดท้ายสำหรับหาพิกัดด้านบนและด้านล่าง

$$\begin{aligned} x_u &= x - y_t \sin \theta \\ y_u &= y_c + y_t \cos \theta \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} x_L &= x + y_t \sin \theta \\ y_L &= y_c - y_t \cos \theta \end{aligned}$$

โดยที่ $\theta = \arctan\left(\frac{dy_c}{dx}\right)$

การออกแบบแอร์ฟอยล์สำหรับการทดลองได้ใช้โปรแกรม DesignFOIL มาออกแบบหารูปร่างของแอร์ฟอยล์ ซึ่งความยาวแอร์ฟอยล์ของใบพัดมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3

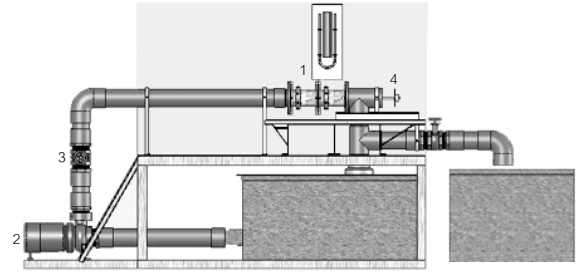


รูปที่ 3 แสดงรูปร่างแอร์ฟอยล์ตามมาตรฐาน NACA 6510 ที่ได้จากโปรแกรม DesignFOIL

3. ชุดทดลอง

ชุดทดลองเพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของกังหันตามแนวแกนแบบหลายชั้นมีส่วนประกอบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำทำได้โดยการปรับวาล์ว โดยมีปั้มน้ำเป็นตัวขับน้ำให้ไหลภายในท่อทดลองซึ่งภายในท่อบรรจุกังหันอยู่ภายใน อัตราการไหลน้ำที่ใช้ทดลอง คือ 900, 1020, 1200 และ 1430 ลิตร/นาที จำนวนใบพัดของกังหันที่ใช้ทดลองมีจำนวนทั้งหมด 4 ใบ และสามารถปรับมุมใบพัดที่ใช้ทดลองได้จาก 30 ถึง 80 องศา นอกจากนั้นสามารถปรับมุมใบบังคับทิศทางจาก 0 ถึง 50 องศา

การหาค่าพลังงานที่ผลิตได้จากกังหันจะต้องหาจากแรงบิดและความเร็วรอบของกังหัน ซึ่งการวัดแรงบิดและความเร็วรอบของกังหันสามารถวัดได้จากแรงดึงของสปริงที่ต่อกับหน้างานที่ใช้วัดแรงบิด และจากเครื่องมือวัด Tachometer ตามลำดับ



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบหลักของชุดทดลอง ชุดทดสอบหลักมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. กังหันน้ำตามแนวแกนหลายชั้น
2. ปั้มน้ำ
3. วาล์วสำหรับปรับอัตราการไหล
4. หน้าจาวัดแรงบิด

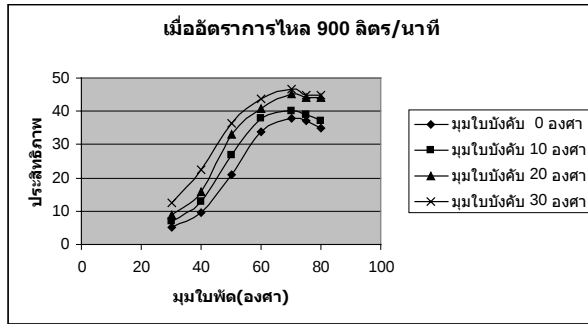


รูปที่ 5 แสดงการติดตั้งชุดใบพัดของกังหัน

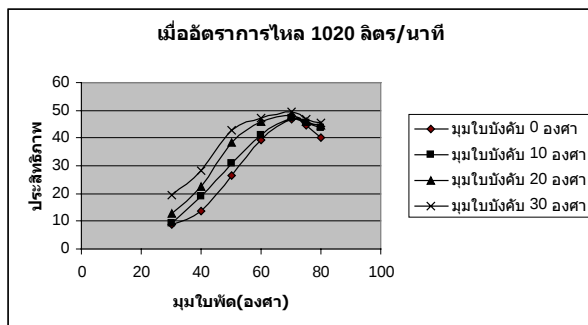
4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมใบพัด เมื่อมุมใบบังคับทิศทางคงที่

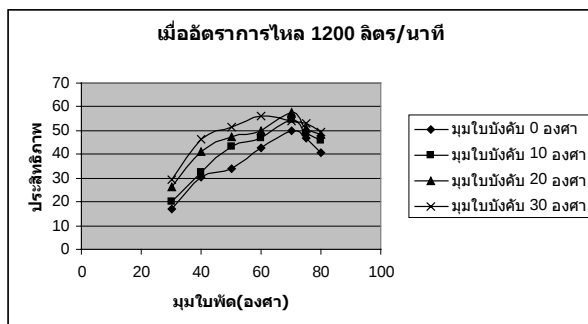
พิจารณารูปที่ 6a ถึง 6d ในกรณีที่มีมุมใบบังคับทิศทางคงที่ พบว่า ประสิทธิภาพของกังหันมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อทำการปรับมุมใบพัด และประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการปรับมุมใบพัดอยู่ที่มุมประมาณ 65 องศา ทั้งนี้เนื่องจากมีแรงยกที่กระทำต่อใบพัดเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีแรงตามแนวสัมผัสมากขึ้น หลังจากนั้น ถ้าทำการปรับมุมใบพัดต่อไปจะทำให้มีแรงฉุดกระทำต่อใบพัดมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกังหันลดลง



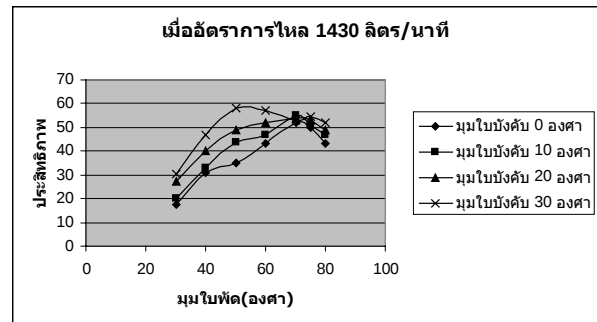
รูปที่ 6a กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 900 ลิตร/นาที่



รูปที่ 6b กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 1020 ลิตร/นาที่



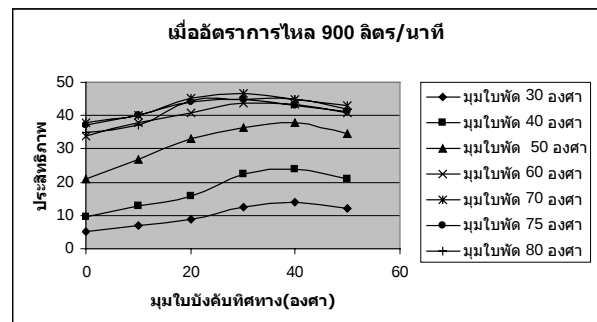
รูปที่ 6c กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 1200 ลิตร/นาที่



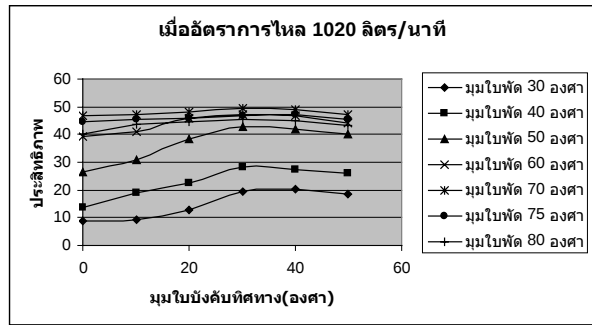
รูปที่ 6d กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบพัดที่อัตราการไหล 1430 ลิตร/นาที่

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมุมใบบังคับทิศทางเมื่อมุมใบพัดคงที่

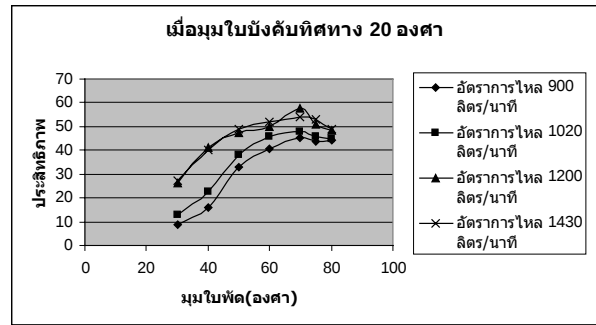
ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อทำการปรับมุมใบบังคับทิศทางอยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 องศา และเมื่อปรับมุมใบบังคับทิศทางมากขึ้น แนวโน้มของประสิทธิภาพของกังหันจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะมุมใบบังคับทิศทางที่มีมุมมากเกินไป จะมีผลทำให้เกิดการ Vortex บริเวณใบพัด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แรงตามแนวสัมผัสน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 7



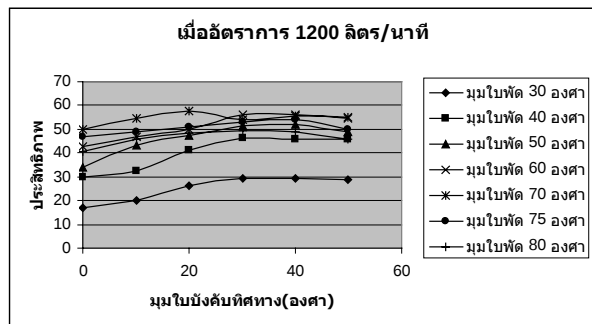
รูปที่ 7a กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมุมใบบังคับทิศทางที่อัตราการไหล 900 ลิตร/นาที่



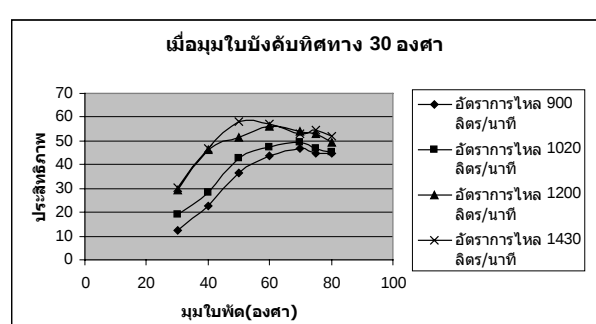
รูปที่ 7b กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบทิศทางที่อัตรา
การไหล 1020 ลิตร/นาที่



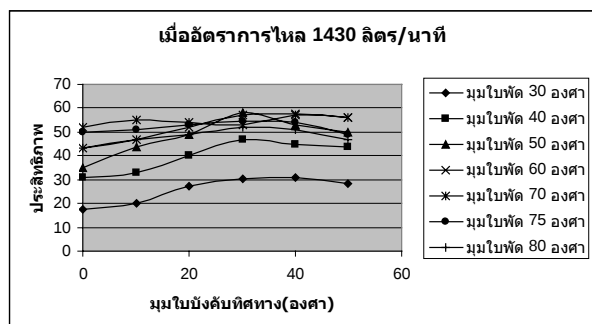
รูปที่ 8a กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบทิศทางที่มูมิ
บั้งคืบทิศทาง 20 องศา



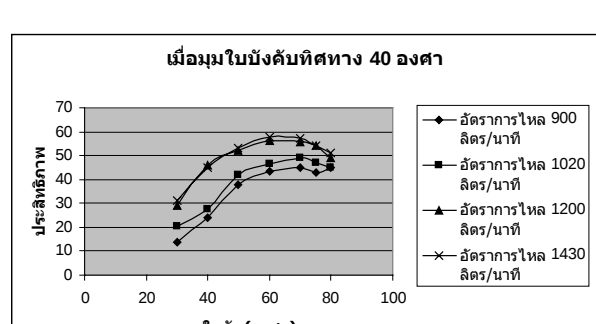
รูปที่ 7c กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบทิศทางที่อัตรา
การไหล 1200 ลิตร/นาที่



รูปที่ 8b กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบทิศทางที่มูมิ
บั้งคืบทิศทาง 30 องศา



รูปที่ 7d กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบทิศทางที่อัตรา
การไหล 1430 ลิตร/นาที่



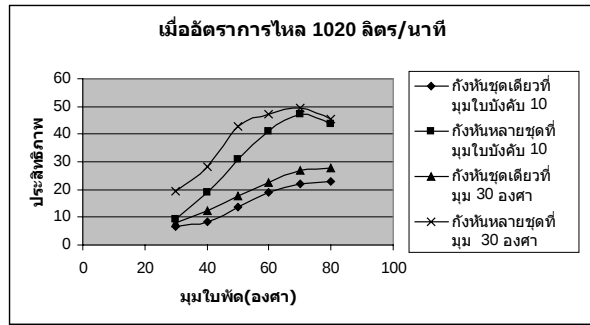
รูปที่ 8c กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบทิศทางที่มูมิ
บั้งคืบทิศทาง 40 องศา

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบเมื่อ อัตราการไหลคงที่

พิจารณารูปที่ 8 ในกรณีที่อัตราการไหลน้ำมีค่าไม่มาก พบว่า อัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพของกังหัน กล่าวคือ อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น และในกรณีที่อัตราการไหลน้ำมีค่ามาก พบว่า อัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันน้อยลง

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับมูมิบั้งคืบสำหรับ กังหันตามแนวแกนแบบหลายขั้นตอนและแบบขั้น เดียว

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระหว่างกังหันตามแนวแกนแบบหลายขั้นตอนและแบบขั้นเดียว ดังรูปที่ 9 พบว่าที่อัตราการไหล มูมิบั้งคืบ และมูมิบั้งคืบทิศทางคงที่ กังหันตามแนวแกนแบบหลายขั้นตอนมีประสิทธิภาพสูงกว่ากังหันตามแนวแกนแบบขั้นเดียวเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานของของไหลยังมีค่ามากพอที่จะถ่ายเทพลังงานให้กับใบพัดชุดที่สองของกังหันแบบหลายขั้นตอนต่อไปได้



รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกังหันแบบหลายชั้นและแบบชั้นเดียว

5. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบใบพัดและสร้างชุดทดลองหาประสิทธิภาพสามารถสรุปได้ว่ามุมใบพัดและมุมใบบังคับทิศทางที่เหมาะสมมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกังหันตามแนวแกนแบบหลายชั้นมีค่าสูงสุดได้ ซึ่งมุมใบพัดและมุมใบบังคับทิศทางที่มีค่าเหมาะสมอยู่ระหว่าง 60 ถึง 70 องศา และ 30 ถึง 40 องศา ตามลำดับ นอกจากนี้อัตราการไหลของไหลที่ไหลผ่านกังหันที่มากเกินไปไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของกังหันมีค่าสูงขึ้น สำหรับการติดตั้งกังหันตามแนวแกนให้มีประสิทธิภาพสูง ควรติดตั้งกังหันตามแนวแกนแบบหลายชั้นมากกว่าการติดตั้งกังหันตามแนวแกนแบบชั้นเดียว

6. สัญลักษณ์

A_p	Platform Area (m^2)
C_L	Lift Coefficient
C_D	Drag Coefficient
D_f	Drag Force (N)
F_a	Axial Component Force (N)
F_t	Tangential Component Force (N)
H_i	Total Inlet Head (m)
L_f	Lift Force (N)
P_i	Static Pressure (N/m^2)
p	Distance of x – axis (m)
Q_i	Flow Rate (m^3/s)
T	Torque (N-m)
t	Airfoil Thickness (m)
u	Blade Velocity (m/s)
V_{i1}	Inlet Velocity (m/s)
V_{i2}	Outlet Velocity (m/s)
V_r	Relative Velocity (m/s)
V_t	Tangential Velocity (m/s)
x	X - Coordinate

y	Y – Coordinate
ω	Angular Velocity (rev/s)
η_{hyd}	Hydraulic Efficiency
η_{mech}	Mechanical Efficiency
η_t	Total Efficiency
η_{vol}	Volumetric Efficiency

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร.สุธรรม นียมवास, เครื่องจักรกลของไหล, บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2549.
- [2] Sayers, A.T., Hydraulic and Compressible Flow Turbomachines, McGraw – Hill, London, 1992.
- [3] William S. Janna, Introduction to Fluid Mechanics, PWS Publishing Company, 3rd ed., 1993.
- [4] Doble W.A, The Tangential Water Wheel, Transactions of The American Institute of Mining Engineering, Vol. XXIX, 1899